(cc) BY Check for updates

Ланина Э.П.

DOI 10.31483/r-103660

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕАКЦИИ ОРГАНИЗМА ОБУЧАЮЩЕГОСЯ НА ПОТОК МОНОТОННО ПОСТУПАЮЩЕЙ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ. КРИТИЧЕСКИЕ СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЗМА

Аннотация*: в главе монографии рассматривается, как процесс обучения влияет на психофизиологическое состояние человека. Приводится решение дифференциальных уравнений, описывающих этот процесс. Решение показывает, что рассматриваемый процесс вызывает периодические колебания психофизиологических параметров, при этом возможен выход за допустимые пределы, что приводит к поражению организма.*

Ключевые слова*: функциональное состояние человека, реакция на воздействие монотонной информации, эмоциональный отклик на воздействие стимула, электрокожное сопротивление, критическое значение скорости подачи информации, степень поражения эмоцией.*

Abstract*: the chapter of the monograph examines how the learning process affects the psychophysiological state of a person. The solution of differential equations describing this process is given. The solution shows that the process under consideration causes periodic fluctuations in psychophysiological parameters, while it is possible to go beyond the permissible limits, which leads to damage to the body.*

Keywords*: functional state of a person, reaction to the impact of monotonous information, emotional response to the impact of a stimulus, electrocutaneous resistance, critical value of the speed of information delivery, the degree of emotion damage.*

Народная мудрость «Лучше один раз увидеть, чем сто раз услышать» подтверждается экспериментально. Б.Г. Ананьев подчеркивал, что восприятие через зрительную систему идет на трех уровнях: ощущение, восприятие и представление, а через слуховую систему – только на уровне представления.

Это значит, что при чтении информация воспринимается лучше, чем «со слуха». 20% поступающей слуховой информации может потеряться, так как:

Content is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)

1) мысли текут в 8–10 раз быстрее, чем речь;

2) есть отвлекающие факторы (реакция на внешние раздражители);

3) через каждые 5–10 секунд мозг «отключается», срабатывают защитные свойства мозга. Именно поэтому требуется повторение одной и той же информации разными способами и лексическими средствами. Целесообразно повторять сложное задание не менее трех раз, широко используя наглядность.

Проблема измерения уровня знаний непосредственно связана с процессом контроля знаний, или тестированием. Кроме теста, другого технологического инструмента для количественного измерения таких скрытых (латентных) педагогических параметров, как уровень знаний и трудность заданий в настоящее время не существует. Следует отметить, что и тесты не позволяют определить эти величины сразу и прямо. Только специальная математическая статистическая обработка результатов тестирования дает возможность получить количественные оценки указанных параметров с заданной степенью точности.

Исследователи Федеральной политехнической школы Лозанны в Швейцарии установили, что человек каждую секунду теряет сознание. Именно с таким интервалом происходит прерывание его мыслительного процесса, которое сам человек не замечает.

В этих отключениях нет ничего патологического, они являются нормальным процессом, который необходим для обработки и лучшего усвоения поступающей информации. Более того, если бы эти потери сознания не происходили, то мозг довольно быстро бы «перегрелся» и вышел из строя.

Специалисты полагают, что именно эта реакция позволяет мозгу произвести «сохранение» полученной информации, и освободить временную зону хранения «данных» для следующих сведений, получаемых извне.

Наиболее часто функциональное состояние человека медики и психологи определяют, как фоновую активность нервных центров, при которой реализуется та или иная конкретная деятельность человека. Нас интересует реакция на воздействие монотонной информации (стимул), которую человек получает в

Содержимое доступно по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)

процессе обучения, требуется определить, как изменяются психофизиологические параметры обучающегося, его эмоциональный отклик.

Особый интерес вызывает исследование адаптивной системы обучения, учитывающей изменение психофизиологических параметров организма. Этим вопросам посвящены работы автора [1; 2]. Эти вопросы рассматривались в работе [3] на конференции «Современные проблемы информатизации» 2012 года. В работе [4] была сделана попытка описать математически процесс обучения, на основе уравнений Г.И. Марчука [5]. На основе предложенного в [4; 5] подхода были составлены уравнения, описывающие процесс обучения при воздействии монотонного потока информации на обучающегося. Ниже приведен анализ полученных решений.

Эмоциональный отклик возникает, как реакция на воздействующую информацию. В.П. Симонов [6] предложил формулу эмоции, учитывающую особенности индивида и накопленный индивидом ранее опыт, знания о вызвавшей эмоцию причине.

Он пришел к выводу, что «эмоция есть отражение мозгом человека и животных какой-либо актуальной потребности (ее качества и величины) и вероятности (возможности) ее удовлетворения, которую мозг оценивает на основе генетического и ранее приобретенного индивидуального опыта».

По Симонову правило возникновения эмоций можно представить в виде структурной формулы:

$$Э = f\,[П,\ (Ин - Ис),\ \ldots\ ],$$

где Э – эмоция, ее сила, качество и знак. Сила эмоции является функцией *П, П* – это сила актуальной потребности в удовлетворении потребности, например, потребности в знаниях; *(Ин – Ис)* – оценка вероятности (возможности) удовлетворения потребности на основе врожденного и приобретенного опыта; *Ин* – информация о средствах, необходимых для удовлетворения потребности (существующие знания); *Ис* – информация о средствах (количестве знаний0, которыми располагает субъект в данный момент.

Content is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)

Отрицательные эмоции возникают, когда количество информации является недостаточным для удовлетворения потребности, а положительные – когда информация оказывается в избытке. Во избежание перегрузок, вызванных слишком большим количеством поступающей информации, обучающийся подходит к ее восприятию избирательно и воспринимает не всю информацию, которую получает, он оценивает и классифицирует информацию в зависимости от индивидуальных особенностей восприятия. Таким образом, сила и качество возникшей у человека эмоции определяются силой потребности и оценкой способности ее удовлетворения.

Для математического описания процесса обучения ограничимся рассмотрением четырех компонент процесса обучения:

– стимула, вызывающего эмоции – скорости подачи потока информации, получаемой при обучении – V;

– предварительных знаний об объекте, вызывающем эмоции – F;

– способностей к обучению (позволяющих получать новые знания о стимуле) – β.

– вероятности нейтрализации стимула ранее накопленными знаниями о стимуле, описывается коэффициентом – γ.

Предварительные знания об объекте F, способность к восприятию информации β и вероятность частичного или полного знания о стимуле γ являются индивидуальными характеристиками каждого обучающегося, зависят от уровня его развития, от способности к обучению, от уровня предварительно полученных знаний о данном предмете.

Эмоциональный отклик на воздействие стимула возникает с задержкой на время τ. Величина τ зависит от свойств нервной системы и различна для каждого обучающегося.

Составим уравнение с запаздыванием, которое будет описывать изменение количества знаний о стимуле, вызывающем эмоции:

$$dF(t) = \beta V(t-\tau)dt - \gamma F(t-\tau)V(t-\tau)dt$$

Содержимое доступно по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)

В этом уравнении *dF(t)* – величина, на которую прирастают знания под воздействием стимула (потока информации *V(t-τ)*) в момент *t*, если воздействие произошло в момент *(t-τ)*. Первый член уравнения показывает, насколько могло бы произойти увеличение уровня знаний, если бы они были восприняты полностью. Но часть знаний нейтрализуется полученными ранее знаниями о предмете, количество нейтрализованных знаний отражает второй член уравнения. Здесь коэффициент вероятности нейтрализации знаний *γ* выделит часть знаний о стимуле, которые имелись в момент *(t-τ)*.

Для монотонного потока информации V= const уравнение будет иметь вид:

$$dF(t) = \beta V dt - \gamma F(t-\tau) V dt \qquad (1)$$

Полученная формула описывает прирост знаний, полученный под действием стимулов, вызывающих эмоции (монотонного потока информации *V*, за интервал времени *dt*). Естественно, прирост знаний пропорционален *V* и коэффициенту восприятия *β*. Член *γFVdt* описывает количество стимулов, (количество полученной за интервал времени *dt* информации) нейтрализуемых накопленными ранее знаниями *F*, *τ* – время, в течение которого осуществляется формирование знаний о стимуле (задержка реакции). Накопления знаний не происходит, если не поступает информация (*V*=0) или, если полученная информация не является новой для обучающегося, то есть если

$$\beta = \gamma F(t-\tau)$$

Рассмотрим теперь уравнение, описывающее эмоциональный отклик на воздействие стимула.

Примем, что изменение измеряемого психофизиологического параметра *R* пропорционально приросту знаний, C – коэффициент пропорциональности:

$$dR(t) = CdF = \mathrm{C}(\beta - \gamma F(t-\tau))Vdt$$

отсюда следует,

$$\frac{dR}{dt} = C\beta V - C\gamma F(t-\tau)V$$

$$\frac{d^2R}{dt^2} = -C\gamma V\frac{dF(t-\tau)}{dt} = -\gamma V\frac{dR(t-\tau)}{dt} \qquad (2)$$

Content is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)

Найти решение при малом запаздывании τ можно, разложив функцию

R(t -τ) в ряд Тейлора вокруг значения *τ0 = 0* (*τ* значительно меньше *t*). Исследования показывают, что довольно хорошие результаты можно получить, если ограничиваться двумя членами разложения:

$$R(t-\tau) \cong R(t) - \frac{dR}{dt}\tau$$

Тогда вместо (2) будем иметь дифференциальное уравнение без отклонения аргумента:

$$\frac{d^2R}{dt^2} = -\gamma V \frac{d(R-\frac{dR}{dt}\tau)}{dt} = -\gamma V \frac{dR}{dt} + \gamma V \frac{d^2R}{dt^2}\tau \qquad (3)$$

Будем искать решение уравнения методом Эйлера в виде:

$R(t) = R(0)e^{\lambda t}$, $R(t-\tau) = R(0)e^{\lambda t}e^{-\lambda\tau}$, где λ – неизвестная действительная или комплексная величина. Определим:

$$\frac{d^2R}{dt^2} = R(0)\lambda^2 e^{-\lambda t} \qquad \lambda = -\frac{V\gamma}{(1-\gamma V\tau)}$$

Составим характеристическое уравнение для уравнения (3):

$$\lambda \ \ (1-\gamma V\tau) = -V\gamma \ \ ,$$

тогда

Решение уравнения (3):

$$R(t) = R(0)e^{-\frac{\gamma Vt}{(1-\gamma V\tau)}} \qquad (4)$$

Это решение не учитывает изменений величины *R* за время, сравнимое с задержкой реакции организма *τ* и отражает общую тенденцию изменения *R*.

При увеличении времени воздействия монотонного потока информации величина измеряемого параметра уменьшается, величина параметра *R* уменьшается также и при увеличении потока информации, что может привести к выходу за допустимые пределы изменения параметра в результате усталости организма.

Давно доказано [7], что электрокожное сопротивление очень чутко реагирует на физические и психологические изменения в организме человека. Инженер Мюллер при исследовании сконструированного им гальванометра решил вместо омического сопротивления подключить человека. При этом он заметил

Содержимое доступно по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)

странное явление: стоило чем-либо воздействовать на центральную нервную систему человека, как стрелка гальванометра начинала отклоняться, как будто в цепи уменьшалось сопротивление. Ознакомившись с работами И.Р. Тарханова и У. Фере, он понял, что это явление обусловлено воздействием на нервную систему человека и назвал его «психогальваническим рефлексом». И.Р.Тарханов заметил, что электрические явления в коже человека резко усиливаются при мнимом воображении ощущения, при абстрактной умственной деятельности, при возбуждении нервной системы, при утомлении, к такому же выводу пришел Фере. Однако, методы изучения кожно-гальванической реакции по Тарханову и Фере принципиально отличаются друг от друга: Тарханов избегал применения постоянного тока, а Фере подключал к цепи источник постоянного тока в 2–4 вольта, при этом на фоне электрофизиологических процессов протекают еще и поляризационные процессы. Отсюда следует, что реакцию организма на возбуждение можно измерять.

В норме электрокожное сопротивление человека в состоянии релаксации растет, а в состоянии активации уменьшается. То есть сопротивление кожи возрастает, когда человек успокаивается и засыпает, и уменьшается при душевном волнении и мобилизации сил.

Попытаемся найти теперь закон изменения психофизиологического параметра R за время t, сравнимое по величине с временем τ. Из уравнения (2) следует:

$$\frac{d^2R}{dt^2} = -\gamma V \frac{dR(t-\tau)}{dt}$$

Рассмотрим решение уравнения (2) в виде: $R(t) = R(0)e^{\lambda t}$, тогда

$R(t-\tau) = R(0)e^{\lambda t}e^{-\lambda\tau}$, где λ – неизвестная действительная или комплексная величина. Получим характеристическое уравнение для λ: $\lambda = -\gamma V e^{-\lambda\tau}$

$$\lambda = -\gamma V e^{-\lambda\tau}$$

Чтобы найти колебательные движения, положим, $\lambda = a \pm iw$, исключаем λ из характеристического уравнения, тогда:

$$a \pm iw = -\gamma V e^{(a \mp iw)\tau}$$

Content is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)

Воспользуемся преобразованиями Эйлера.

$a \pm iw = -\gamma V e^{a\tau} e^{\mp iw\tau}$, представим в виде:

$$a \pm iw = -\gamma V e^{a\tau}(\,Cos(\,w\tau) \mp i\,Sin(\,w\tau))$$

, отсюда

$$w = \gamma V e^{a\tau}\,Sin(\,w\tau)$$

$$a = -\gamma V e^{a\tau}\,Cos(\,w\tau)$$

Делим одно уравнение на другое и получаем $w = -aTg(w\tau)$, тогда

$$w = \gamma V e^{-w\tau Ctg(w\tau)}\,Sin(\,w\tau)$$

Запишем решение уравнения (2):

$$R(t) = R(0)e^{(-wCtg(w\tau)\mp iw)t}$$

$$R(t) = R(0)e^{-wCtg(w\tau)t}\,Cos(\,wt), \qquad (5)$$

где w – периодичность изменений психофизиологического параметра, τ – время задержки реакции на полученную информацию, задержка связана с обработкой и восприятием информации.

Если положить $w\tau = \pi/2$, процесс становится периодическим и обратимым:

$$R(t) = R(0)\,Cos(\,wt), \quad w = w_0 = \gamma V$$

Задержка электродермической реакции с начала предъявления стимула составляет в среднем 1,2 – 3 секунды.

Значительное отклонение от нормального периода задержки может означать, что данная реакция не связана со стимулом, что имеются проблемы с концентрацией внимания обучающегося или, что обучающийся использует меры противодействия.

Примем, что время запаздывания реакции τ = 3сек., тогда период колебаний психофизиологического параметра T=12сек., $w = 2\pi f$ и f=1/12 Гц. Таким образом, частота собственных колебаний находится в пределах 0,083 – 0,25 Гц. Отсюда можно определить критическое значение скорости подачи информации для обратимого процесса восприятия информации:

Содержимое доступно по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)

$$V_{\text{кр}} = \frac{w_0}{\gamma}$$

Таким образом, полученное решение (5) не является устойчивым.

Рассмотрим случай, когда $w\tau = \frac{\pi}{2} \mp \Delta$.

Можно показать, что

$$Ctg(\frac{\pi}{2} \mp \Delta) = \frac{Ctg(\frac{\pi}{2})Ctg(\Delta) \pm 1}{Ctg(\Delta) \mp Ctg(\frac{\pi}{2})} = \pm \frac{1}{Ctg(\Delta)},$$

тогда:

$$R(t) = R(0)e^{-wt\frac{1}{\pm Ctg(\Delta)}} Cos(wt)$$

Амплитуда колебаний с течением времени затухает если *Δ<0* (преобладают силы торможения в процессе восприятия информации) и возрастает если *Δ>0*, в этом случае с течением времени психофизиологический параметр *R* уходит за пределы допустимого.

Ниже показано решение уравнения для стационарных колебаний при wτ = π/2, рис. 1а, развитие колебаний при wτ = π/2- Δ, рис. 1б, затухание колебаний при wτ = π/2+ Δ, рис. 1в.

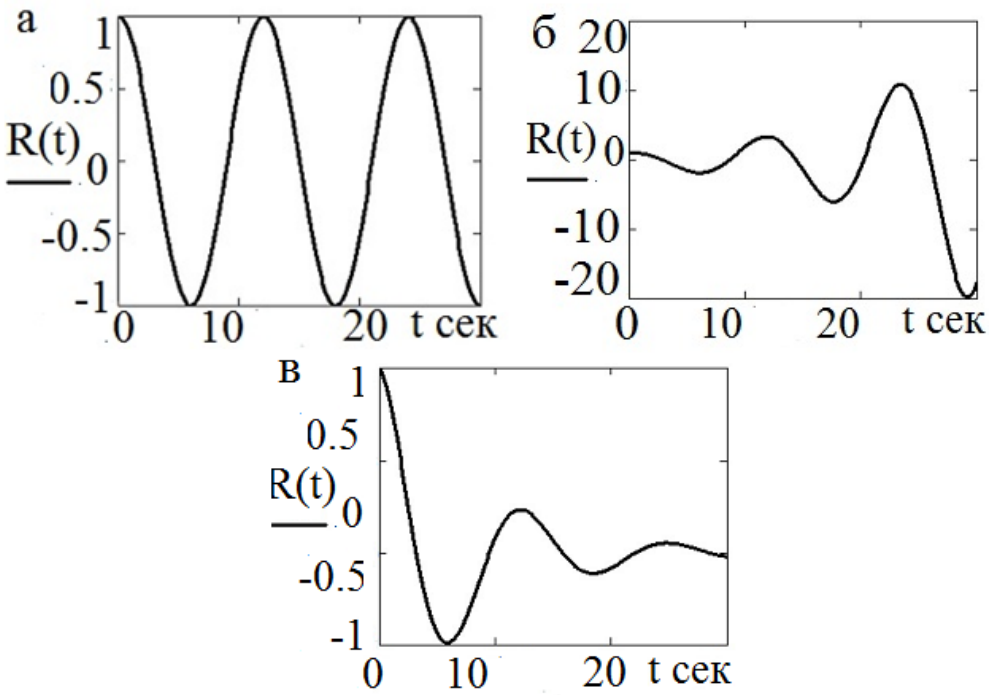

Рис. 1а, б, в. Решение уравнения, описывающего реакцию организма на воздействие монотонно поступающей информации

Content is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)

В работе [8], рассматривающей колебательные процессы в организме приведен рис. 2, на котором показана спектрограмма электрических колебаний, снятых при наблюдении сердечного ритма. Высокочастотные колебания сопряжены с дыханием, низкочастотные колебания отражают модуляцию сердечного ритма нервной системой человека.

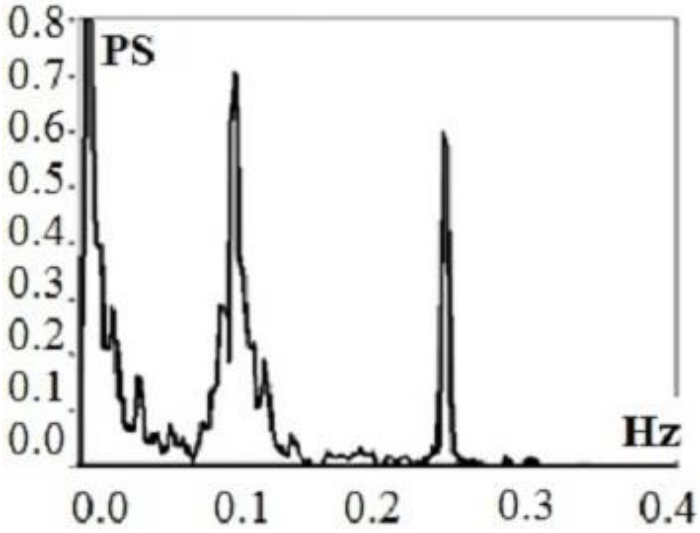

Рис. 2. Спектрограмма электрических колебаний,
снятых при наблюдении сердечного ритма

К низкочастотному спектру электрических сигналов относится полученное в данной статье периодическое решение (рис.1а), описывающее собственные колебания психофизиологического параметра при монотонном поступлении информации скорость подачи информации равна критической, однако это состояние не является устойчивым, любое случайное отклонение может привести к состоянию показанному на рис 1б или 1в.

Решение, приведенное на рис.1в показывает зависимость величины возбуждения от процессов торможения, причиной которых является изменение величины $w\tau$, связанной со скоростью подачи информации. В данном случае возбуждение затухает, скорость подачи информации меньше критической. При превышении критического значения скорости $V_{кр}$ процесс необратим (рис. 1б), при скорости меньше критической происходит полное восстановление организма, чем меньше скорость подачи информации, тем быстрее система приходит к равновесию. Решение отражает качественный характер воздействия монотонно

Содержимое доступно по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)

поступающей информации, вызывающей соответствующие физиологические изменения в состоянии организма.

Благодаря физиологической реакции человека при поступлении информации в процессе обучения и тем изменениям, которые она вызывает в нервных процессах и в организме обучающегося, человек способен испытывать эмоцию.

При анализе решения уравнения, описывающего эмоциональный отклик на воздействие стимула (монотонно поступающей информации), было обнаружено, что со временем реакция организма на монотонный раздражитель уменьшается, к такой же реакции приводит увеличение потока информации, что может привести к выходу психофизиологического параметра за допустимые пределы в результате усталости организма, поражению организма, стрессу [9; 10]. Стресс можно рассматривать как особое функциональное состояние и в то же время как психофизиологическую реакцию организма на воздействия среды, выходящие за границы адаптивной нормы.

Мало изучено умственное утомление при выполнении непрерывной, требующей интенсивного внимания когнитивной деятельности, когда развитие сонливости недопустимо, а развитие монотонии подавляется сосредоточением на выполнении заданий. Показано, что умственное утомление приводит к ухудшению функций произвольного внимания, замедляет восприятие стимулов и увеличивает время реакции. Кроме того, умственное утомление ухудшает способность субъективного восприятия своих ошибок и в целом нарушает работу систем реагирования на стимулы.

Из проведенного анализа уравнения (2) следует, что в системе возникают собственные колебания.

$$\frac{d^2R}{dt^2} = -C\gamma V\frac{dF(t-\tau)}{dt}$$

С точки зрения анализа колебательного здесь действует отклоняющая от положения равновесия сила, пропорциональна полученному в результате работы по осмысливанию потока информации приросту знаний (сопротивление падает).

При

Content is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)

$$\frac{d^2R}{dt^2} = V\frac{dR(t-\tau)}{dt}$$

Наличие противодействующей силы вызывает затухание колебаний – это борьба организма против изменения его нормального состояния. Очевидно, что организм защищает себя от поражения, включая силы торможения.

Примем гипотезу о том, что переживание эмоции связано с размерами поражения (воздействия на психическое состояние).

Введем в рассмотрение уравнение для относительной характеристики поражения m. Пусть M – характеристика нормального состояния, а M' – соответствующая характеристика состояния человека на которого действует стимул, тогда

$$m = 1 - \frac{M'}{M}$$

Это относительная характеристика поражения человека эмоцией. Для нормального состояния она равна нулю, а для полного поражения – единице.

Для величины m рассмотрим уравнение: $\frac{dm}{dt} = \sigma V - \mu_m m$

Первый член в правой части характеризует степень поражения эмоцией. Предполагается, что за интервал времени dt увеличение относительной величины поражения пропорционально количеству стимулов, которое описывается членом σV, где σ – некоторая константа, своя для каждой эмоции. Уменьшение этой характеристики происходит за счет восстановительной деятельности организма. Этот член будет зависеть от m с коэффициентом пропорциональности μ_m, характеризующим обратную величину периода восстановления организма в m раз.

При сильном поражении, т.е. при большом отклонении от нормального состояния производительность обучения падает.

В нашей модели фактор поражения можно учесть в приведенной ниже системе уравнений путем замены коэффициента α на произведение $\alpha\xi(m)$. В реальных условиях график $\xi(m)$ может иметь сложную форму, но качественно он отображается постоянным значением $\xi = 1$ в начале изменения аргумента m и

Содержимое доступно по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)

убывающей линейно или нелинейно зависимости при дальнейшем увеличении этого аргумента.

Таким образом, получена система дифференциальных уравнений, описывающих протекание эмоции

$$\frac{dV}{dt} = (\beta - \gamma F) * V$$

$$\frac{dC}{dt} = \xi(m)\alpha V(t-\tau)F(t-\tau)$$

$$\frac{dF}{dt} = \rho C - (\eta\gamma V)F$$

$$\frac{dm}{dt} = \sigma V - \mu_m m$$

Рассмотрим теперь, как реализовать систему мониторинга психофизиологических параметров обучающихся во время восприятия потока информации.

Мы отметили, что при обучении человек прилагает умственные усилия, которые могут приводить не только к усталости, но и к поражению некоторых функций организма. Влияние мыслительной деятельности человека на состояние его психофизиологических параметров недостаточно изучено в настоящее время. Тем не менее, процесс обучения проходит каждый человек. Развитие образования, использование электронных средств обучения приводит к тому, что обучение можно сделать адаптивным, подстраивающимся под параметры человека. Как это делать, какие параметры важно учитывать, как влияет процесс обучения на психофизиологические параметры человека, это вопросы, на которые можно получить ответ, разработав систему мониторинга состояния обучающихся в процессе обучения. Изложим основные подходы к проблеме математического моделирования работы адаптивной системы мониторинга, анализа и управления процессом обучения, учитывающей основные психофизиологические характеристики обучаемых. Полагается, что система должна строиться на общих принципах теории управления с учетом обратной связи обучаемого объекта с процессом обучения.

Content is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)

На основе такого подхода можно предложить структурную схема адаптивной системы мониторинга [11], анализа и управления процессом обучения (рис. 3).

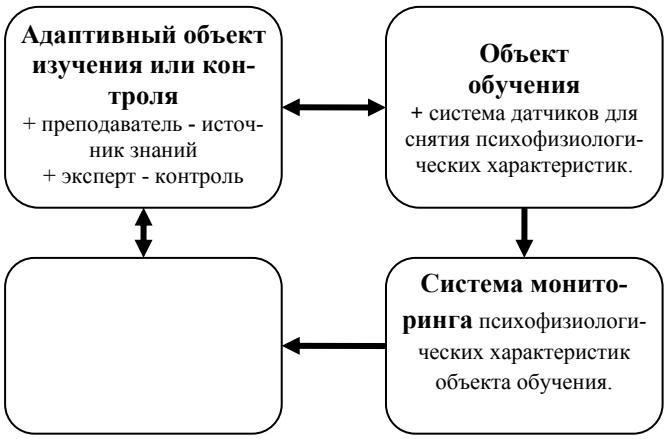

Рис 3. Структура адаптивной системы мониторинга, анализа и управления процессом обучения

Остановимся на двух блоках этой структуры. Нас интересует система датчиков в блоке объект обучения, и блок – система мониторинга.

В настоящее время в системах мониторинга для сбора и передачи информации, полученной с датчиков, широко применяются беспроводные технологии. Кабельные системы привязывают датчик к прибору регистрации. Это позволяет получить более качественные сигналы без значительных помех, но ограничивает мобильность датчиков. В тоже время, нам все чаще требуются аппаратные средства для наблюдения за состоянием спортсменов, больных, не привязанных к постели или, как в нашем случае, для наблюдения изменения психофизиологических параметров обучающихся во время восприятия потока информации, для мониторинга состояния группы обучающихся в процессе обучения.

В данной монографии рассматривается проблема измерения психофизиологических параметров обучающихся при воздействии информации в процессе обучения. Эта задача остается актуальной и сегодня, так как до сих пор не разработана система, позволяющая определять уровень допустимой нагрузки и дозировать информацию исходя из полученных экспериментально данных.

Содержимое доступно по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)

Список литературы

1. Ланина Э.П. О проблеме математического моделирования работы адаптивной системы мониторинга, анализа и управления процессом обучения, учитывающей основные психофизиологические характеристики / Э.П. Ланина // Вестник Ир ГТУ. – 2011. – Вып. 4 (51). – С. 214–219.

2. Ланина Э.П. Представление и восприятие знаний в процессе обучения / Э.П. Ланина, Р.О. Храмцов // Винеровские чтения: труды IV Всероссийской конференции. Часть III. – Иркутск: ИрГТУ, 2011. – С. 91–101.

3. Кравец О.Я. Связь технологий построения индивидуальной образовательной траектории и теории управления / О.Я. Кравец // Современные проблемы информатизации в экономике и обеспечении безопасности: материалы конференции. Вып. 17. – Воронеж: Научная книга, 2012. – С. 80–86.

4. Розалиев В.Л. Построение математической модели эмоций / В.Л. Розалиев // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте (Коломна, 28–30 мая 2009 г.): сб. науч. тр. V Междунар. науч.-практ. конф. Т. 2 / РАИИ. – М., 2009. – С. 950–957.

5. Марчук Г.И. Математические модели в иммунологии / Г.И. Марчук. – М.: Наука, 1980. – 264 с.

6. Симонов П.В. Эмоциональный мозг / П.В. Симонов. – М.: Наука, 1981. – С. 19–23, 27.

7. Калашников В.Н. Электрическое сопротивление кожи как индикатор психофизиологического состояния человека / В.Н. Калашников [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://skfb.ru/p111aa1.html

8. Котельников С.А. Вариабельность ритма сердца: представления о механизмах / С.А. Котельников, А.Д. Ноздрачев, М.М. Одинак [и др.]; Российская Военно-медицинская академия, кафедра нервных болезней (Санкт-Перетбург) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.medlinks.ru/article.php?sid=7234

9. Lanina E.P. To the solution of the equation describing reaction of the organism on the flow of information in the course of studying / E.P. Lanina // Modern

Content is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)

informatization problems in economics and safety: Proceeding of the XVIII-th International Open Science Conference (Lorman, MS, USA, January 2013): Science Book Publishing House, Lorman, MS, USA. – 2013. – P. 26–31.

10. Ланина Э.П. Моделирование реакции организма на поток монотонно поступающей в процессе обучения информации / Э.П. Ланина, О.А. Свистунова // Системы управления и информационные технологии. Перспективные исследования. – 2013. – №1.1 (51).

11. Ланина Э.П. Разработка модели обработки данных кожно-гальванической реакции человека / Э.П. Ланина, Нгуен Ба Тхай // Актуальные направления фундаментальных и прикладных исследований: материалы IV Международной научно-практической конференции (4–5 августа 2014 г.). Том 1. – Norton Charleston, USA, 2014. – С. 177–180.

Ланина Эльвира Прокопьевна – канд. физ.-мат. наук, преподаватель ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», Россия, Иркутск.

Содержимое доступно по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)